

BREVE HISTORIA DE LA ARQUITECTURA DIGITAL

Brief history of digital architecture

Jon Arteta Grisaleña

Arquitecto, docente en la carrera de Arquitectura de la Universidad Central. Coordinador del Laboratorio Digital Ucentral. Doctor en Arquitectura, Máster en Proyecto Avanzado de Arquitectura y Ciudad por la Universidad de Alcalá. Arquitecto por la Universidad del País Vasco.
• jon.arteta@ucentral.cl

RESUMEN

El presente texto propone un recorrido sintético por la historia de la arquitectura digital, recopilando hitos, protagonistas y tendencias clave en el desarrollo de este fenómeno. El objetivo es lograr una comprensión contextualizada de las relaciones entre la tecnología digital y la arquitectura, describiendo un proceso de transformación constante que se extiende hasta nuestros días.

ABSTRACT

This text proposes a synthetic journey through the history of digital architecture, compiling milestones, protagonists and key trends in the development of this phenomenon. The aim is to achieve a contextualized understanding of the relationships between digital technology and architecture, describing a process of constant transformation that continues to this day.

[Palabras claves]

arquitectura digital, diseño computacional, cad, diseño paramétrico, historia de la arquitectura

[Key Words]

digital architecture, computational design, cad, parametric design, architectural history

Introducción

La incorporación de las herramientas digitales en el ámbito de la arquitectura es el resultado de un largo proceso, desde el surgimiento de los primeros planteamientos relativos a la computación y la informática hasta su pleno desarrollo e implementación en el seno de la disciplina, a partir de la década de 1990. El presente texto propone un mapeo sintético de este proceso evolutivo, describiendo los devenires de la arquitectura digital en las diferentes etapas de la historia reciente. Esto implicará comprender los vínculos entre el desarrollo tecnológico (digital), la práctica arquitectónica y el contexto histórico y social en el cual se insertan. Se construye de este modo una visión global sobre la arquitectura digital, generando un marco teórico que aspira a convertirse en sustento e inspiración para nuevas vías de exploración. Para poder avanzar en el desarrollo de la arquitectura digital, será fundamental conocer los anhelos, los avances y también los tropiezos de las generaciones que nos precedieron en esta apasionante e incierta empresa. En las próximas secciones se desarrollará con mayor detalle este mapeo histórico, concluyendo con algunas reflexiones generales sobre las implicaciones de la arquitectura digital y su desarrollo hasta nuestros días.

1. Antecedentes: los comienzos de la computación y la informática

El término “computación” hace referencia a la capacidad de realizar cálculos y desarrollar procesos según instrucciones formales o lógicas, mientras que la informática, por su parte, se refiere a la automatización de estos procesos de cómputo gracias al uso del ordenador¹. La idea de utilizar máquinas para desarrollar las tediosas tareas de cómputo y gestión de la información surge a partir de 1920, originando el nacimiento de las ciencias informáticas. Gracias a los aportes de pioneros como Alan Turing (máquina de Turing, 1936) o John Von Neumann (máquina o arquitectura de Von Neumann, 1945)², entre otros, esta ciencia se fue desarrollando y consolidando como un importante campo de investigación, siendo especialmente impulsada en sus comienzos por los departamentos de inteligencia militar. De hecho, es en la década de los 50 cuando aparecen las primeras herramientas informáticas con cierto nivel de sofisticación, como por ejemplo el sistema SAGE (Semi-Automated Ground Environment), utilizado para la coordinación de operaciones militares a través de radar.

Otro hecho significativo es el surgimiento de los primeros estudios formales en torno a la idea de “Inteligencia Artificial” (I.A.). Esta nueva disciplina, promulgada por científicos como John McCarthy o Marvin Minsky, invita a imaginar la posible influencia de la computación sobre diferentes ámbitos del conocimiento y de la vida cotidiana, evidenciando la posible trascendencia de los avances informáticos en la gran mayoría de disciplinas y ámbitos del saber. En el caso de la arquitectura, la consideración e incorporación de conceptos y herramientas procedentes de la informática comenzaron a darse en la década de 1960, tal y como veremos a continuación.

1 RAE. “Informática”: Conjunto de conocimientos científicos y técnicas que hacen posible el tratamiento automático de la información por medio de ordenadores.

2 Tanto la “máquina de Turing” como la “máquina de Von Neumann” son modelos teóricos, esquemas lógicos fundamentales para el posterior desarrollo de máquinas informáticas reales. La “máquina de Turing” fue presentada por primera vez en un artículo publicado en la revista “Proceedings of the London Mathematical Society”, en el año 1936. La “arquitectura de von Neumann” se acuñó a partir del memorando “First Draft of a Report on the EDVAC”, de 1945.

2. Arquitectura y Computación en la década de 1960: Pioneros e Iniciadores

2.1. Explorando las relaciones hombre- máquina

En el año 1960, el informático estadounidense J.C.R. Licklider publica un artículo visionario titulado "Man-Computer Symbiosis" (Licklider, 1960), en el cual no solo se establece el programa de trabajo para la ingeniería informática de las próximas décadas, sino que se abre la puerta a una nueva manera de concebir la relación entre el hombre y la máquina. Lejos de proclamar la supremacía de uno sobre otro, Licklider imagina al hombre y la máquina colaborando de manera conjunta, estableciendo una interacción productiva de carácter simbiótico. Esta manera de entender las posibilidades de la informática dio origen a un nuevo campo de investigación, un campo híbrido entre lo tecnológico y lo humanístico, que encontrará en la cibernética y la Inteligencia Artificial sus principales vías de desarrollo.

La influencia de estas ideas permeó también el mundo del diseño y el arte, tal y como se evidencia en la exposición "Cybernetic Serendipity" (1968), celebrada en el Institute for Contemporary Arts de Londres (Imagen 1). En dicho evento se presentaron trabajos pertenecientes al ámbito del arte, la música, el cine, la danza y la arquitectura, todos ellos vinculados a la exploración de mecanismos cibernéticos, los cuales fueron desarrollados por autores destacados como Norbert Wiener, Stafford Beer, Gordon Pask o John Cage, entre otros.

En el ámbito concreto de la arquitectura, cabe señalar la importancia de personajes como Gordon Pask o Nicholas Negroponte, pioneros en la incorporación de conceptos y herramientas informáticas en el seno de la disciplina, y principales exploradores de esta supuesta simbiosis entre hombre y máquina.

En el artículo "The Architectural Relevance of Cybernetics" (Pask, 1969), Gordon Pask reivindica la necesidad de considerar la cibernética como un medio fundamental para superar el funcionalismo moderno y avanzar hacia una arquitectura mucho más adaptable y dialogante, hacia una arquitectura basada en el concepto de mutualidad. Pask apuesta así por diseños en los que obra y usuario establecen un diálogo dinámico, una relación de interacción mutua que abre la posibilidad de concebir una arquitectura en constante evolución.

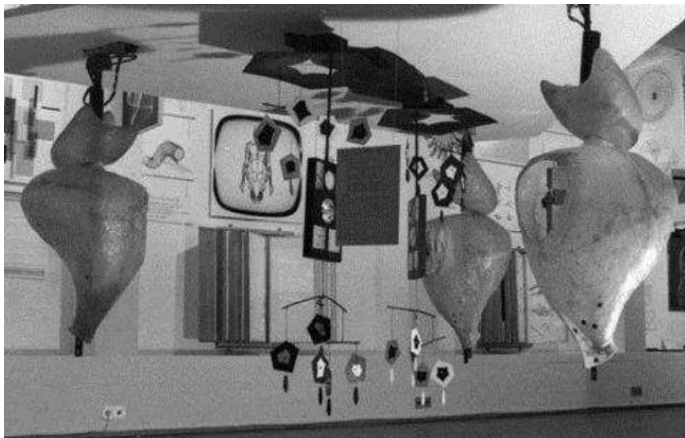


Imagen 1. Instalación "Colloquy of Mobiles" realizada por Gordon Pask para la exposición "Cybernetic Serendipity" del Institute for Contemporary Arts (ICA) de Londres, 1968. Fuente: Dunn, 2012.

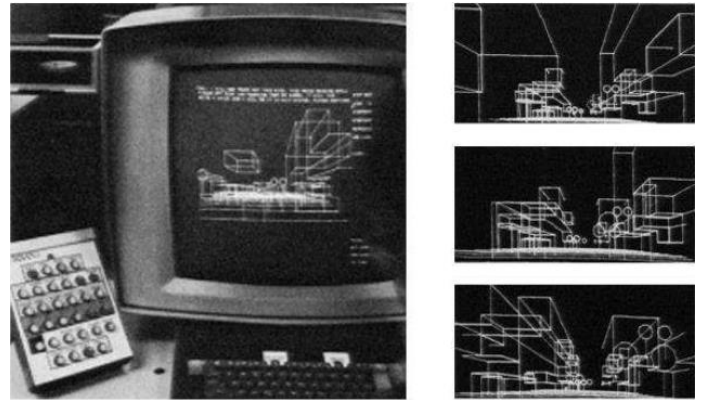


Imagen 2. Hardware y software del proyecto URBAN 5, desarrollado por el "Architecture Machine Group" del MIT, 1969. Fuente: Negroponte, 1973

El arquitecto estadounidense Nicholas Negroponte, por su parte, estudió la posibilidad de establecer un diálogo productivo entre diseñador y computador, interpretando este último como un auténtico compañero de trabajo, gracias a las posibilidades sugeridas por la Inteligencia Artificial (Negroponte, 1973). A través de sus trabajos al frente del "Architecture Machine Group" del MIT, Negroponte trató de crear una máquina capaz de interactuar con el arquitecto en el proceso de creación y desarrollo proyectual, estableciendo una visión extremadamente ambiciosa y singular de lo que debería ser un verdadero diseño asistido por computador (Imagen 2).

2.2. Lo Digital como parte del pensamiento utópico en arquitectura

Si bien el trabajo de los pioneros anteriormente citados resulta revelador, en ningún caso podría considerarse como parte del "mainstream" arquitectónico de la época. La gran mayoría de los arquitectos de los 60 no disponían del conocimiento técnico ni de los medios tecnológicos anteriormente descritos, si bien ello no evitaba que la computación y su aplicación a la arquitectura se convirtiesen en un motivo habitual de reflexión y elucubración. En este sentido, la experiencia de John Frazer resulta especialmente reveladora, cuando afirma que, a finales de los 60, "no teníamos ordenadores a nuestro alcance, de modo que lo único que podíamos hacer era imaginar que existían, e imaginar también todos los avances en tecnología y los cambios sociopolíticos necesarios para hacer realidad nuestros sueños. A eso me refiero con ordenar sin ordenador" (Frazer, 2005).

Estas especulaciones intelectuales se vieron potenciadas por el desarrollo del pensamiento utópico en la arquitectura de la época, con numerosas propuestas que incorporaban la cibernética y la computación como parte de proyectos futuristas. A continuación se recogen algunos ejemplos destacados:

- "Fun Palace" (1958-1964), Cedric Price, Joan Littlewood y Gordon Pask. "Fun Palace" es un proyecto de centro cultural concebido como una construcción adaptable y cambiante, como una gran megaestructura en la que los diferentes usos y espacios artísticos pueden disponerse de diferentes maneras, según las preferencias de los usuarios. La idea era disponer una estructura fija de soporte, dotada de grúas móviles para desplazar los contenedores programáticos según las necesidades de cada momento. Para establecer una relación de interactividad entre arquitectura

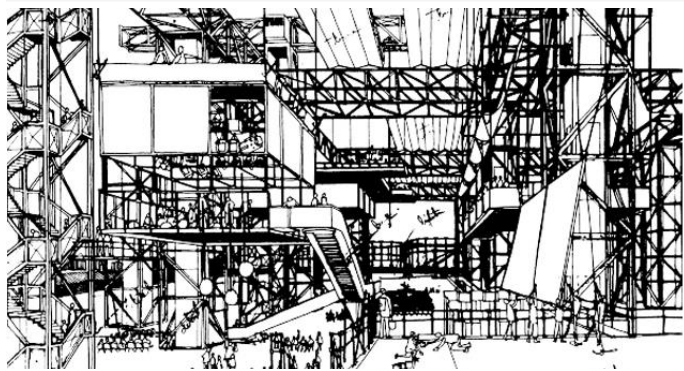
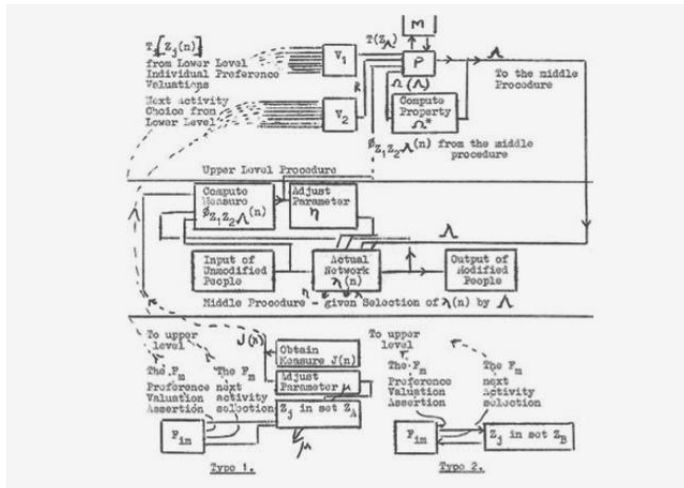


Imagen 3. (Arriba) Diagrama cibernético para Fun Palace. Gordon Pask. (Abajo) Dibujo interior del Fun Palace. Cedric Price. Fuente: Cedric Price Archives, Canadian Centre for Architecture, Montreal.

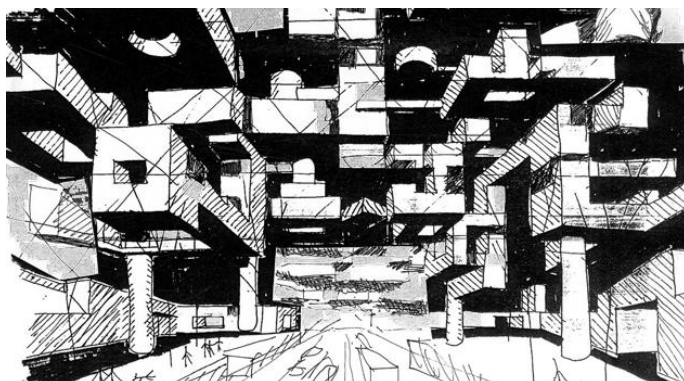
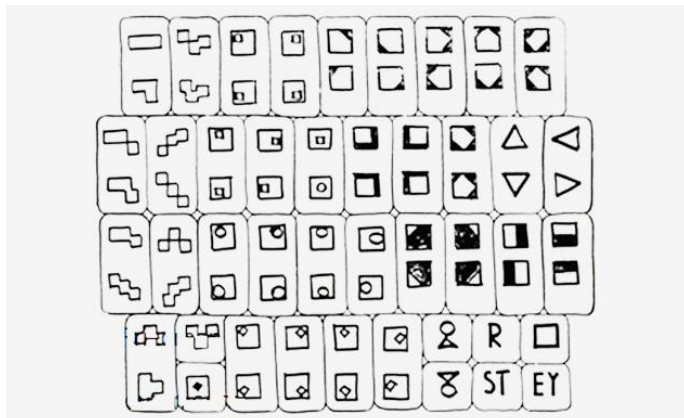


Imagen 4. (Arriba) Esquema con los códigos y operaciones del sistema "Flatwriter". (Abajo) Dibujo de la "Ville Spatiale", realizado por Friedman. Fuente: www.yonafriedman.com

y usuario, Price y Pask contemplaban la implementación de un sistema informatizado que garantizase la constante transmisión de información entre agentes (Imagen 3).

- "Flatwriter"/Ciudad Espacial (1960), Yona Friedman. "Flatwriter" era un proyecto de software concebido para el desarrollo de la "Ciudad Espacial" de Yona Friedman. La propuesta del arquitecto francés contemplaba una gran estructura tridimensional que serviría como soporte para los diferentes usos y volúmenes programáticos, diseñados y ubicados según los deseos de los propios habitantes o usuarios. El sistema informatizado "Flatwriter" serviría como instrumento para registrar y codificar las preferencias de cada usuario y comunicárselas a los constructores, posibilitando así el desarrollo de una ciudad en permanente cambio (Imagen 4).

- "Computer City" (1965), Dennis Crompton, Archigram. "Computer City" consiste en un sistema de sensores y dispositivos electrónicos interconectados, destinados a la monitorización, control y gestión de las diferentes actividades que acontecen en el entorno urbano. Crompton imagina un sistema capaz de generar una ciudad inteligente y autorregulada: "el mecanismo es a la vez digital y biológico, produciendo acciones y reacciones tanto racionales como aleatorias" (Crompton, 1963). Esta propuesta, formulada a nivel de hipótesis teórica, fue ideada como complemento al concepto de Plug-in City, incorporando los circuitos electrónicos y el comportamiento cibernético como componentes de la propuesta.

- "World Game" (1967), Buckminster Fuller. El "World Game" de Fuller es un sistema pensado para aplicarse sobre la ciudad real, aunque reinterpretada desde una nueva escala planetaria. "World Game" es un proyecto de simulación propuesto por Fuller para ensayar la posible optimización de recursos a nivel mundial; frente a la escasez de recursos y la superpoblación del planeta, el arquitecto británico apuesta por adoptar una visión holística y planificar considerando el mundo entero como unidad de análisis. Las propuestas de Fuller, presentadas en la "World Design Science Conference" de 1967, constituyeron una importante fuente de inspiración para generaciones futuras, llegando a fundar el "World Game Institute" en el año 1972.

Otra de las contribuciones destacables en este período es el trabajo del arquitecto Luigi Moretti en torno a la arquitectura paramétrica, un concepto desconocido hasta la época, pero que comenzaría a tomar forma gracias a los aportes del arquitecto italiano. Sus primeras reflexiones sobre la arquitectura paramétrica se remontan a textos publicados en la década de los 40, aunque es en 1960 cuando Moretti presenta sus primeros prototipos diseñados digitalmente, gracias al uso de un computador IBM 610. En la imagen adjunta (Imagen 5) se muestra la maqueta presentada por Moretti para la XII Triennale di Milano, una propuesta para un estadio deportivo cuyo diseño deriva de la consideración de 19 parámetros diferentes, considerando factores como las condicionantes visuales o los costos económicos, entre otros.

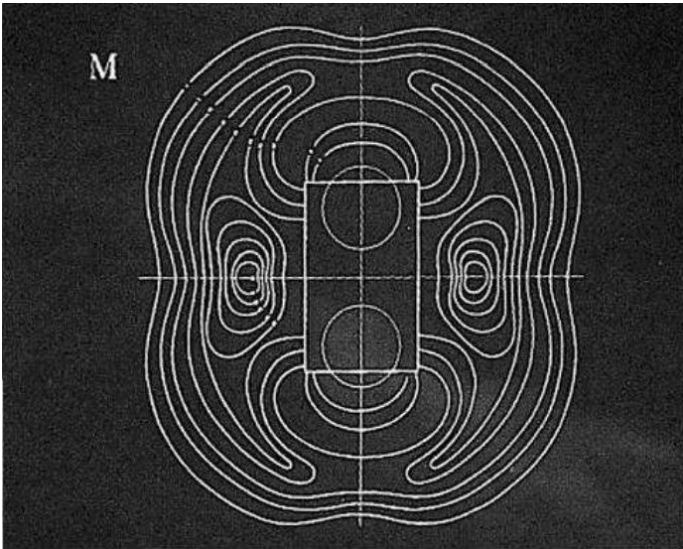
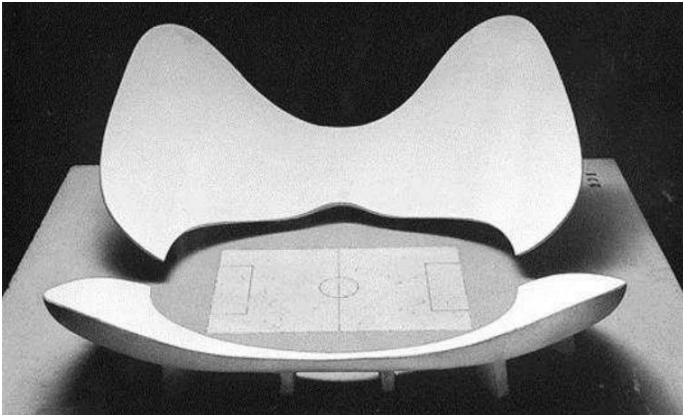


Imagen 5. Maqueta de estadio diseñado mediante métodos paramétricos. Luigi Moretti. 1960. Fuente: Bucci & Mulazzani, 2002

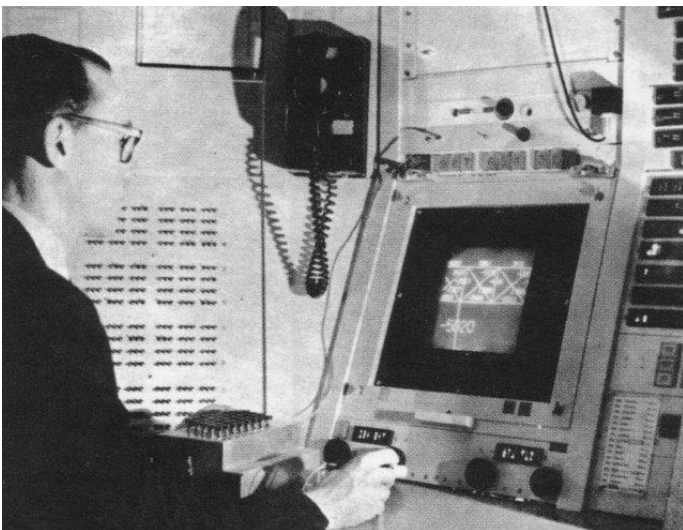


Imagen 6. Ivan Sutherland trabajando en la plataforma Sketchpad, MIT, 1963. Fuente: Computer History Museum-computerhistory.com.

2.3. El computador como herramienta de representación

En el año 1963, el científico del MIT Ivan Sutherland presenta la tesis doctoral titulada "Sketchpad: a man-machine graphical communication system", la cual va acompañada de una interfaz informática que permite registrar dibujos hechos con la ayuda de un lápiz óptico y un panel de control. En palabras del propio Sutherland, "el sistema Sketchpad hace posible que un hombre y una computadora conversen rápidamente a través de dibujos lineales" (Sutherland, 1963). A través de esta propuesta, Sutherland busca que el dibujo computacional sea accesible a todo tipo de usuarios, sin necesidad de que dispongan conocimientos específicos de programación. Surge de este modo la idea del computador como herramienta de representación, generando un hito clave que se convertirá en la base para el futuro desarrollo de las aplicaciones CAD (Computer-Aided Design).

3. Arquitectura y Computación en las décadas de 1970 y 1980: Desarrolladores en la sombra

3.1. Desarrollando la hoja de ruta marcada en los 60: avances tecnológicos

Tal y como afirma Frazer, la agenda básica de los 70 y los 80 se había definido casi en su totalidad en la década de los 60. La época de los pioneros y los iniciadores de tendencias dará paso a una segunda etapa, protagonizada por los "desarrolladores" (Frazer, 2005), centrados principalmente en el desarrollo y difusión de las herramientas tecnológicas.

Un ejemplo representativo de este contexto es el "Generator Project" (1976-80), desarrollado por Cedric Price en colaboración con John y Julia Frazer. Este proyecto, heredero directo de los principios planteados en el "Fun Palace", basaba su principal originalidad en el desarrollo de un sistema informático propio, un software que permitiría concebir el primer prototipo de "edificio inteligente". Si bien el proyecto no llegó a construirse, las ideas y desarrollos técnicos asociados a la propuesta marcan un nuevo hito en la colaboración entre la arquitectura y las ciencias de la computación.

Otra línea destacada fue el desarrollo de herramientas asociadas a la representación gráfica de proyectos. Experiencias pioneras como el Sketchpad de Sutherland tuvieron una difusión muy limitada (el uso de sketchpad quedó acotado a computadores específicos del Lincoln Laboratory del MIT), por lo que existía la necesidad de generar aplicaciones masivas enfocadas en un público más amplio. En este contexto surgen programas como InteractCad o MicroCad, predecesores de lo que actualmente conocemos como Autocad, cuya versión 1.0 fue presentada en el año 1982. Desde entonces, la evolución de este programa ha sido constante, convirtiéndose en un software de referencia para la disciplina.

3.2. La desconexión entre herramientas y objetivos

A pesar de los avances tecnológicos desarrollados durante esta etapa, los 70 y los 80 no pueden considerarse como un período próspero para la integración de la tecnología en las prácticas cotidianas, y tampoco en el ámbito de la arquitectura. Frazer describe la causa de este desfase como un problema de desconexión entre la tecnología y la realidad (Frazer, 2005), el cual se manifestaba en diferentes frentes:

Por una parte, cabe destacar el importante desfase existente entre la rápida evolución de la tecnología y la inercia típica de los sistemas sociales, políticos y económicos. La crisis del petróleo del 73, por ejemplo, provocó un primer desencuentro al poner en cuestión el crecimiento indefinido y la validez del positivismo tecnológico como motor para la nueva sociedad. Se genera así una desconfianza que poco a poco va derivando en la merma de la creatividad y el espíritu propositivo, una merma especialmente patente bajo los regímenes de Thatcher o Reagan, por ejemplo. Otro caso especialmente representativo de esta desconexión entre tecnología y contexto sociopolítico será el caso de Chile y el proyecto Synco³, un proyecto destinado a convertir a Santiago de Chile en la primera "ciudad inteligente" del mundo, cuyo desarrollo fue truncado tras el golpe militar de Pinochet.

A este desfase general se debe sumar la resistencia de la propia disciplina arquitectónica a asimilar los avances del nuevo contexto tecnológico. Pese a los aportes de autores como Charles Eastman⁴ o William Mitchell⁵, responsables de publicaciones orientadas al uso de la computación en el diseño arquitectónico, la gran mayoría de la profesión no llegó a interiorizar estas prácticas. La deficiente manejabilidad de las primeras herramientas de diseño digital, así como los pobres resultados que producían a nivel de representación gráfica, supusieron un freno para su adopción masiva. En definitiva, los avances tecnológicos desarrollados hasta ese momento, aunque importantes, eran todavía insuficientes como para lograr la popularización de la informática.

Un signo especialmente representativo del contexto vivido en las décadas de los 70 y los 80 es el surgimiento del movimiento cultural denominado "cyberpunk", caracterizado por los relatos distópicos relacionados con el futuro y la tecnología. Este género de la ciencia ficción refleja a la perfección la convivencia entre la inquietud por un futuro tecnológico y el cuestionamiento de sus posibles efectos y consecuencias.



Imagen 7. Imagen perteneciente a la película *Blade Runner* (1982), uno de los filmes más populares y representativos del cyberpunk. Fuente: Película "Blade Runner", 1982.

3 El proyecto "Synco" o "Cybersyn" fue un proyecto del gobierno chileno de Salvador Allende para implementar un sistema cibernético para controlar y gestionar la economía del país. El principal arquitecto del sistema era el científico británico Stafford Beer.

4 Eastman, C. (ed.), 1975, *Spatial Synthesis in Computer-Aided Building Design*. Applied Science, Londres.

5 Mitchell, W.J., 1977, *Computer-Aided Architectural Design*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York.

4. Arquitectura y Computación en la década de 1990: la "Revolución Digital"

A lo largo de la década de 1990, la computación experimenta un crecimiento y una difusión sin precedentes, dando lugar a lo que conocemos como la "revolución digital". Los avances en el desarrollo de microprocesadores y la progresiva reducción de los costos de producción permitieron que la tecnología computacional se popularizara, haciendo del ordenador un aparato omnipresente en oficinas y hogares de todo el mundo.

La revolución digital provoca transformaciones en todos ámbitos y escalas de la vida contemporánea. En lo que respecta al campo del diseño arquitectónico y urbano, esta influencia se manifiesta tanto a nivel interno -modificando sus herramientas y metodologías de trabajo-, como a nivel externo -transformando el contexto y las condiciones a las que este diseño debe hacer frente.

4.1. Revolución Interna: "La Arquitectura Digital"

Gracias al espectacular desarrollo de la tecnología digital, la arquitectura logrará fusionar finalmente las vertientes tecnológica y teórico-práctica, marcando el inicio de una época dedicada al desarrollo de una nueva "arquitectura digital".

El surgimiento de esta sinergia se debió en gran parte a la confluencia de intereses entre el discurso arquitectónico, especialmente preocupado por la experimentación formal, y el potencial ofrecido por la tecnología digital de cara a representar y manipular geometrías complejas. Las herramientas digitales permiten trabajar con formas difícilmente abordables desde los métodos y técnicas tradicionales, abriendo así un nuevo y fructífero campo para la experimentación. El arquitecto Frank Gehry puede considerarse como uno de los pioneros en este ámbito, siendo uno de los primeros en combinar técnicas analógicas y digitales para el diseño y ejecución de edificios de gran complejidad formal, tales como el Disney Concert Hall de Los Ángeles (1992-2003) o el museo Guggenheim de Bilbao (1992-97). Estas experiencias constituyeron el origen de un amplio movimiento marcado por la progresiva digitalización de los procesos y por la ideación de nuevas metodologías de generación formal, pudiendo destacar a protagonistas como Peter Eisenman, Gregg Lynn, FOA (Foreign Office Architects), NOX, Zaha Hadid Architects o Coop Himmelblau, entre otros.

El advenimiento de la arquitectura digital se convirtió en un fenómeno ampliamente celebrado y difundido, tanto dentro como fuera de la propia disciplina arquitectónica, lo cual se refleja en la proliferación de publicaciones, exposiciones y eventos dedicados este tema. Un ejemplo representativo es el hecho de que la revista española *Arquitectura Viva* (AV), en el número dedicado a hacer balance de la producción arquitectónica de la década de 1990, adoptase como título "La Década Digital". Las editoriales y publicaciones especializadas jugaron un papel clave a la hora de difundir las obras y textos de autores relevantes en este ámbito, pudiendo destacar casos como la revista británica "Architectural Design" (AD), responsable de números como "Architects in Cyberspace I (1995) y II (1998)", "Architecture after Geometry" (1997), "Hypersurface Architecture I (1998) y II (1999)", entre otros.

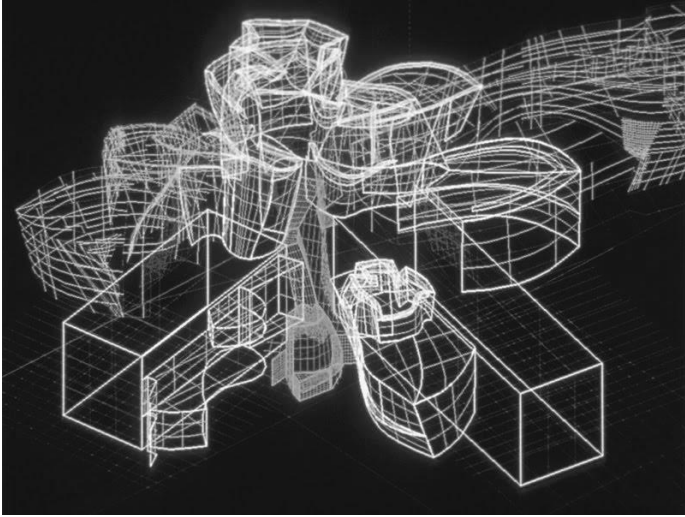


Imagen 8 Museo Guggenheim Bilbao, obra del arquitecto F.O.Gehry. Modelo digital e imagen de la obra construida. Fuente: www.guggenheim-bilbao.eus.

Más allá de estas experiencias de vanguardia, los medios digitales también fueron permeando la práctica profesional, incorporando el CAD como herramienta de trabajo en los estudios de arquitectura. Si bien en la mayoría de los casos no supuso un cambio sustancial en la manera de diseñar, las ventajas asociadas al dibujo digital (copy/paste, uso de bloques predibujados, etc.) permitieron un avance notable en los procesos de representación y documentación técnica de los proyectos.

4.2. Revolución Externa: la “Sociedad de la Información”

La revolución digital no solo afecta a los mecanismos internos de la arquitectura, sino que también influye de manera indirecta, transformando el contexto social en el que se enmarca la disciplina. Las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) han venido produciendo cambios radicales sobre prácticamente la totalidad de los ámbitos de la vida contemporánea, dando lugar a lo que se conoce como “Sociedad de la Información”. La popularización de los computadores y de la red de Internet ha generado una sociedad basada en la circulación de datos, en la transmisión de informaciones a una velocidad nunca antes imaginada, provocando cambios en todos los ámbitos y escalas.

Para el filósofo y matemático Javier Echeverría, la revolución digital no solo provoca importantes cambios sobre las estructuras establecidas, sino que contribuye a generar un nuevo entorno de acción, “un nuevo espacio social que difiere profundamente de los entornos naturales y urbanos en los que tradicionalmente han vivido y actuado los seres humanos” (Echeverría, 1999). Eche-

verría habla así de un “Tercer Entorno”⁶ digital que, superpuesto e interrelacionado con el mundo físico, contribuye a generar una nueva realidad híbrida (físico- virtual).

La consideración de este tercer entorno implicará a su vez la aceptación de unas nuevas normas de juego, de un nuevo funcionamiento de la realidad sobre el que se han desarrollado multitud de estudios y conceptualizaciones, destacando, además de la contribución de Echeverría, importantes reflexiones por parte de pensadores como M. McLuhan (“aldea global”), M. Castells (“la ciudad informacional”), P. Virilio (“dromología”)⁷, A. Toffler (“la tercera ola”), etc.

Adoptando las palabras del arquitecto Manuel Gausa, podemos hablar del surgimiento de unas nuevas “condiciones de entorno” para la arquitectura (Gausa, 2010), de un nuevo escenario complejo en el que la arquitectura deberá redefinir y adaptar su significado y función. Ante este reto, las herramientas de diseño digital se convierten en un aliado especialmente valioso y, su análisis, en una tarea ineludible.

5. La Arquitectura y Computación en el s.XXI: vías de desarrollo para la Arquitectura Digital

El proceso de digitalización experimentado a principios de los 90 constituye el comienzo de una alianza permanente y productiva entre arquitectura y digitalidad, una simbiosis irreversible cuyas consecuencias siguen siendo motivo de estudio y exploración en el actual contexto contemporáneo. Son ya más de tres décadas en las que lo digital ha pasado de ser algo novedoso y singular a convertirse en una realidad cotidiana, en un aspecto básico del diseño contemporáneo. Tal y como afirma Stan Allen, “en las décadas de 1980 y 1990, el ordenador mantenía un estatus de culto; dividía la arquitectura entre creyentes y escépticos, un mundo de profetas, discípulos y conversos entusiastas. (...) Hoy el ordenador no es una nueva tecnología que deba ser celebrada o deconstruida, es un simple hecho” (Allen, 2009).

Dentro de este contexto de generalización y normalización de lo digital, sin embargo, existen diversas vías de trabajo que aspiran a lograr una integración mucho más profunda y productiva de los recursos computacionales en el diseño arquitectónico. A continuación se presentan, de manera resumida, algunas tendencias y vías de investigación clave en este ámbito:

5.1. Diseño Paramétrico y Generativo

Tal y como afirma el arquitecto K. Terzidis, para comprender el verdadero potencial de los medios digitales en el diseño arquitectónico es necesario trascender los límites del software convencional (CAD) y adentrarse en la “caja negra de la programación” (Terzidis, 2006). Autores como R. Oxman o T. Kotnik se sumarán a esta idea, reivindicando la necesidad de ampliar la caja de herramientas de la arquitectura mediante el trabajo con algoritmos y códigos matemáticos.

6 Los entornos considerados por Echeverría son: entorno natural (E1), entorno urbano (E2) y entorno digital o tercer entorno (E3).

7 “Dromología” es un concepto creado por el ensayista francés Paul Virilio para estudiar la velocidad con la que se producen las transformaciones y las relaciones sociales en el contexto de la nueva era digital. Virilio estudia la “dromología” para conocer de qué manera están afectando al hombre las nuevas tecnologías, el nuevo concepto de tiempo, la virtualidad, el ciberespacio, o los nuevos modos de comunicación.

Llegados a este punto, resulta inevitable recordar a los pioneros de arquitectura digital, vistos en los apartados anteriores, los cuales siempre habitaron en este terreno intermedio entre la arquitectura y las ciencias de la computación. Las actuales exploraciones en el campo del diseño paramétrico y generativo (Caetano, Santos, Leitao, 2020) pueden considerarse herederas de esta tradición, ampliada ahora por los avances en la capacidad de procesamiento de las máquinas, las plataformas de programación visual⁸ y las aplicaciones asociadas a la IA.

Nos encontramos ante vías de trabajo que, además de facilitar la exploración de formas complejas, abren la puerta a nuevos métodos de trabajo, en los que la intuición del diseñador se puede complementar con la capacidad de procesamiento y la "inteligencia" de la computadora. Las instrucciones iniciales del autor pueden ampliarse así con procesos de simulación, generación y/u optimización computacional, creando y analizando una gran cantidad de alternativas de diseño.

Tal y como indica Rivka Oxman, la arquitectura digital ha permitido trascender los métodos tradicionales de diseño, introduciendo nueva lógicas y metodologías de proyecto, en lo que podría denominarse como "digital design thinking" (Oxman, 2006). El historiador Mario Carpo, por su parte, anuncia transformaciones aún más profundas en el futuro próximo, llegando a hablar de una segunda revolución o "giro digital" asociado a la incorporación de la IA en el proceso de diseño arquitectónico (Carpo, 2017).

5.2. Fabricación Digital (CAD/CAM⁹)

Desde la creación del primer FabLab¹⁰ en el año 2001 por parte del Center of Atoms and Bits del MIT, el desarrollo de la tecnología de fabricación digital ha experimentado un notable proceso de desarrollo y popularización. La capacidad de fabricar diseños digitales de manera directa a través de máquinas de control numérico (impresoras 3D, router cnc, cortadoras láser, brazos robóticos, etc.) ha generado un nuevo campo de acción con implicaciones directas sobre la manera de diseñar y producir la arquitectura (García Alvarado, 2011).

En primer lugar, estos avances han provocado un cambio en las lógicas de producción, pasando del sistema fordista, basado en la fabricación en serie de elementos estandarizados, a una nueva etapa post-fordista, centrada en el diseño personalizado y la producción de elementos "no-estándar".

Esta circunstancia se alinea perfectamente con las exploraciones paramétricas/generativas descritas en el apartado anterior, posibilitando la materialización rápida de prototipos complejos. En este sentido, cabe destacar el trabajo desarrollado por autores como Neri Oxman, Gramazio & Kohler, Achim Menges o Philippe Block, que junto a sus respectivos equipos de investigación han combinado las exploraciones formales/paramétricas con la innovación material y el uso de tecnologías de fabricación avanzadas, desarrollando una línea de trabajo integrada, conocida como "material-based computational design" (Yazici, Tanacan, 2020).

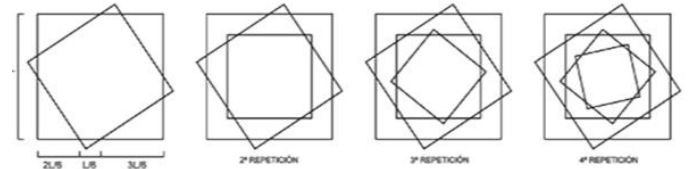


Imagen 9: Serpentine Gallery Pavilion 2002, Toyo Ito + Cecil Balmond. Ejemplo de proceso generativo a partir de operaciones algorítmicas. Fuente: Sakamoto, 2008.

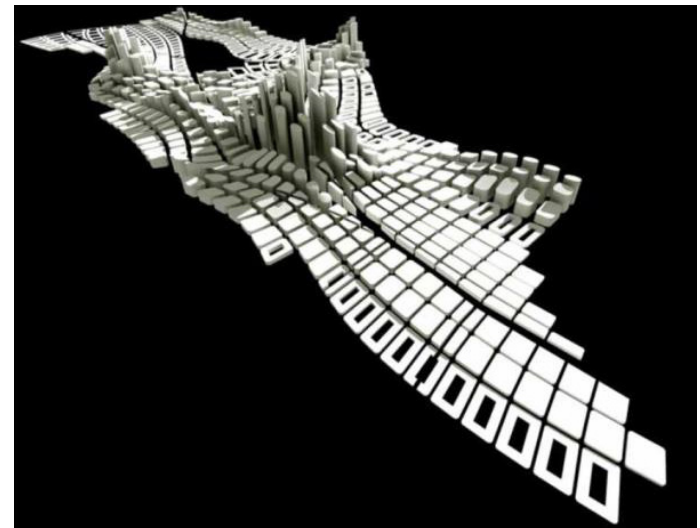


Imagen 10: Propuesta de diseño desarrollada por Zaha Hadid Architects. Ejemplo representativo del estilo parametricista, aplicado a la escala urbana. Fuente: Schumacher, AD Digital Cities.

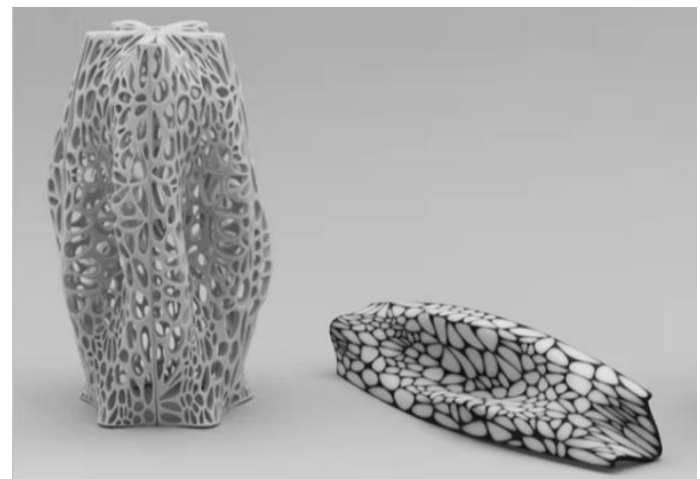


Figura 11: Monocoque. Obra realizada por Neri Oxman. Fuente: www.oxman.com.

8 Como, por ejemplo, las aplicaciones Grasshopper (vinculada a Rhinoceros) o Dynamo (asociada a Revit).

9 El concepto CAD/CAM deriva de la combinación de "Computer Aided Design" y "Computer Aided Manufacturing".

10 FabLab (Fabrication Laboratory): laboratorio de fabricación.

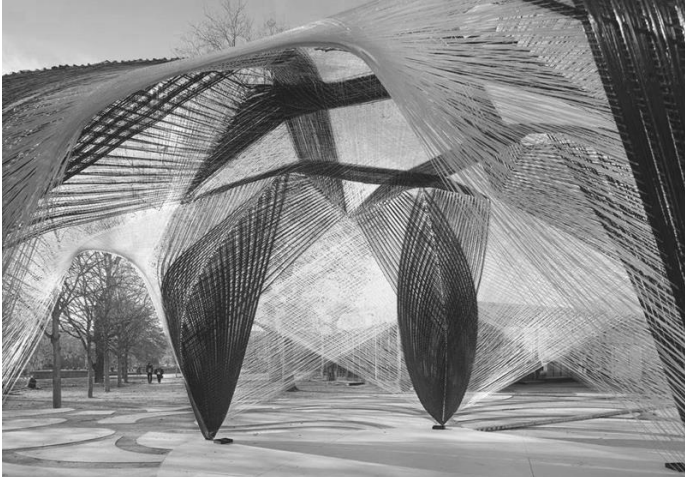


Imagen 12: ICD/ITKE Research Pavilion. Achim Menges + J. Knippers, Universidad de Stuttgart. Diseño algorítmico + simulación + fabricación robótica con fibra de vidrio. Fuente: www.achimmenges.net

A estas vías de investigación se pueden sumar también los intentos por aplicar la fabricación digital en mayores escalas -impresión de edificios (Pessoa, Guimaraes, 2020)-, así como la creación de nuevos ecosistemas creativos a través de asociaciones y redes integradas de FabLabs¹¹.

5.3. Entornos Híbridos y Realidad Virtual

Durante la primera década del s.XXI surgen diversas ideas y avances que impulsan el desarrollo de entornos híbridos, provocando una fusión cada vez más profunda entre lo físico y lo digital. La masificación de los dispositivos móviles, el lanzamiento de la web 2.0, el internet de las cosas y el Big Data, entre otros factores, contribuyen a configurar un contexto marcado por la ubicuidad de la tecnología y los datos.

Esto alimentará las iniciativas y debates en torno al concepto de “ciudad inteligente”, que se tiende a consolidar como un campo de investigación relevante para diversas disciplinas, entre ellas la arquitectura (Khatoun, Sherali, 2016). Dentro de esta vía de trabajo es posible hacer mención a equipos destacados como el “Senseable City Lab” (MIT), dirigido por el arquitecto Carlo Ratti, o el “Center for Advanced Spatial Analysis” (CASA), perteneciente a la universidad inglesa The Bartlett, cuyas investigaciones multidisciplinarias avanzan día a día en la exploración de este nuevo universo.

Los entornos híbridos están directamente ligados a su vez con el campo de la realidad virtual. Impulsada inicialmente por la industria de los videojuegos, la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) han ido permeando progresivamente el ámbito de la arquitectura (Dávila et al. 2020), dando lugar a múltiples campos de aplicación, como puede ser la interacción del usuario en la personalización de diseños de interiores, la reconstrucción virtual del patrimonio, la gestión y supervisión de trabajos de construcción, o la propia enseñanza de la arquitectura, entre otros. Si a esto le añadimos la reciente popularidad de conceptos como el Metaverso, descubriremos un campo de oportunidades sumamente amplio que todavía se encuentra en fase temprana de exploración.

11 En el año 2009 se crea la Fab Foundation, una organización sin ánimo de lucro surgida del MIT y destinada a crear una red mundial de FabLabs. www.fabfoundation.org.

5.4. BIM (Building Information Modelling)

Uno de los temas centrales en la arquitectura digital de nuestros días es, sin duda, la expansión del BIM en el campo profesional. El desarrollo de proyectos bajo esta metodología implica el trabajo colaborativo entre disciplinas, en base a un modelo digital compartido que concentra toda la información del proyecto. Esto ha impulsado cambios en el uso de software comercial (transición del CAD tradicional a programas como Revit o Archicad, entre otros), así como en el ámbito normativo, con el desarrollo de nuevos estándares y normas destinadas a estructurar y optimizar los procesos vinculados al desarrollo proyectual¹².

Si bien el uso de BIM no parece tener mayores implicaciones en la fase de ideación arquitectónica y diseño conceptual, la manera de ir organizando y enriqueciendo la información del proyecto sí que puede ayudar a la hora de tomar decisiones estratégicas en diferentes fases de proyecto¹³.

Asimismo, es importante señalar las potenciales conexiones del BIM con herramientas y métodos analizados en apartados previos, como puede ser la incorporación de aplicaciones de diseño paramétrico, las cuales pueden ayudar al modelamiento de geometrías complejas, pero también a la automatización de tareas o la optimización de los flujos de trabajo interdisciplinarios. Otro claro ejemplo de este cruce de caminos es el hecho de que los modelos BIM terminen convirtiéndose en “gemelos digitales” del edificio real (Menassa, Kamat, 2021), lo cual supone una conexión directa con la realidad virtual y los entornos híbridos.

6. Conclusiones sobre la evolución de la Arquitectura Digital

A lo largo del presente texto se han presentado hitos y tendencias clave que permiten comprender con mayor profundidad la evolución de la arquitectura digital.

Más allá de los avances evidentes a nivel global, el análisis de las diferentes etapas que conforman el desarrollo de la arquitectura digital ha permitido descubrir una microhistoria no lineal, conformada por períodos de aceleración y deceleración, factores catalizadores e inhibidores, así como conexiones y divergencias entre autores de diversas épocas. Ha quedado demostrado, por tanto, que la arquitectura digital no depende únicamente del desarrollo tecnológico, sino de un espectro mucho más amplio de factores, debiendo considerar también los aspectos sociales, políticos, económicos y culturales. Resulta difícil concebir avances reales sin un alineamiento mínimo en todos estos ámbitos.

En línea con esta perspectiva holística, es posible constatar la simbiosis entre arquitectura y digitalidad, entendiendo que ambas son capaces de inspirarse y retroalimentarse mutuamente. Esta simbiosis se manifiesta en todos los ámbitos de la disciplina, desde la teorización y la investigación académica hasta la realidad cotidiana de la práctica profesional, a través de diversas vías de trabajo (diseño algorítmico, fabricación digital, realidad virtual, BIM) que tienden a complementarse y fusionarse cada vez más.

12 El trabajo bajo metodología BIM está regulado internacionalmente por la norma ISO 19.650, la cual está sirviendo como base para la creación de diferentes estándares nacionales en cada país.

13 Definición de BIM según la norma ISO 19.650: uso de una representación digital compartida de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, y proporcionar una base confiable para la toma de decisiones.

A modo de cierre, subrayar el valioso conocimiento acumulado durante estas décadas de desarrollo, un conocimiento que constituye una herramienta fundamental para seguir avanzando, explorando y construyendo los próximos episodios de la arquitectura digital.

Bibliografía

Allen, S. (2005). The digital complex- ten years after. LOG 5, págs. 93-99.

Banham, R. (1978). Megaestructuras. Futuro urbano del pasado reciente. Gustavo Gili.

Bucci, F., & Mulazzani, M. (2002). Luigi Moretti: Works and Writings. New York: Princeton Architectural Press.

Caetano, I., Santos L., Leitao, A. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, Vol. 9, n° 2.

Carmo, M. (2017). The Second Digital Turn. Design beyond intelligence. MIT Press.

Crompton, D. (1963). City Synthesis. *Living Arts*, Vol. 2

Davila, J. M., Oyedele, L., Demian, P., Beach, T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 45.

Dunn, N. (2012). Proyecto y Construcción Digital en Arquitectura. Blume.

Echeverría, J. (1999). Los Señores del Aire: Telépolis y el tercer Entorno. Destino.

Frazer, J. (2005). Computing without Computers. *Architectural Design*, Vol. 77, n°4, págs. 54-61.

Fuller, R. B. (1969). 50 Years Of The Design Science Revolution And The World Game. A Collection of Articles and Papers on Design. Southern Illinois University.

García Alvarado, R. (2011). Fabricación digital de modelos constructivos: análisis de equipos y procesos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* n°59, págs 145-157.

Gausa, M. (2010). OPEN: Espacio, Tiempo, Información. Barcelona: Actar.

Khatoun, R., Sherali, Z. (2016). Smart cities: concepts, architectures, research opportunities. *Communications of the ACM*, Vol. 59, n° 8.

Kotnik, T. (2010). Digital Design as Exploration of Computable Functions. *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 8, n°1.

Licklider, L. (1960). Man-Computer Symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-1, 4-11.

Menassa M., Kamat C. (2021). "From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry". *Journal of Information Technology in Construction*. Vol 26, págs 58-83.

Negroponte, N. (1973). The Architecture Machine. MIT Press.

Ortega, L. (2009). La digitalización toma el mando. GG.

Oxman, R. (2006). Theory and Design in the First Digital Age. *Design Studies*, Vol. 27, n°3, págs. 229-265.

Pask, G. (1969). The Architectural Relevance of Cybernetics. *Architectural Design*, vol 7, n°6, págs 494-496.

Pessoa S., Guimaraes A. (2020). The 3D printing challenge in buildings. *E3S Web Conferences* 172.

Sakamoto, T. (2008). From Control to Design. *Parametric/Algorithmic Architecture*. Actar.

Schumacher, P. (2009). Parametricism. *AD Digital Cities*, págs 14-23.

Sutherland, I. E. (1963). Sketchpad: A man-machine graphical communication system. Technical report n°296, Lincoln Laboratory, MIT.

Terzidis, K. (2006). *Algorithmic Architecture*. Routledge.

UNE-EN-ISO 19650 (2019). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling).

Yazici S., Tanacan L. (2020). Material-based computational design (MCD) in sustainable architecture. *Journal of Building Engineering*, Vol. 32.

Páginas web:

www.achimmenges.net

www.bfi.org

www.fabfoundation.org

www.guggenheim-bilbao.eus

www.herbertmatter.org

www.yonafriedman.com

www.oxman.com

www.rae.es